

## 무아래 패턴을 이용한 깨달음과 생산적 창의성 신장 프로그램 개발과 적용

육근철  
공주대학교

김용국  
공주대학교

B. Cramond  
University of Georgia

물리교육에서의 창의성에 대한 서양적 중심 사상인 생산성과 동양적 중심 사상인 깨달음을 조합하여 무아래 무늬를 이용한 창의성 신장 과학탐구 프로그램(PEPC)을 개발하였다. 무아래 무늬를 활용한 PEPC(Program for Enlightened and Productive Creativity)는 5단계 나선형 과학탐구과정으로 구성되어 있고, 각 단계마다 창의성을 신장시킬 수 있는 기본 요소를 제시하였다. 그리고 이 프로그램을 과학영재, 물리교사, 일반학생들에게 적용한 결과 과학영재반 학생들이 확장성과 직관력에서 일반학생들보다 높게 나타났다. 특히 직관력과 종합성은 교사반이 과학영재반 학생들보다도 낮게 나타났다. 그리고 창의성의 10개 요소 중 분석력은 모든 집단에서 낮게 나타났다.

주제어: 생산성, 깨달음, 무아래 무늬, 주기적 구조, 과학영재, PEPC

### I. 서 론

1918년 M. Plank가 “양자론에 의한 물리학 진보에 대한 공언”으로 노벨 물리학상을 수상한지 약 90년이 지난 오늘날의 사회를 양자적 사회(Quantum

---

교신저자: 육근철(gdyuk@kongju.ac.kr)

\*본 논문은 공주대학교 자체학술연구비 지원에 의해 수행된 것입니다.

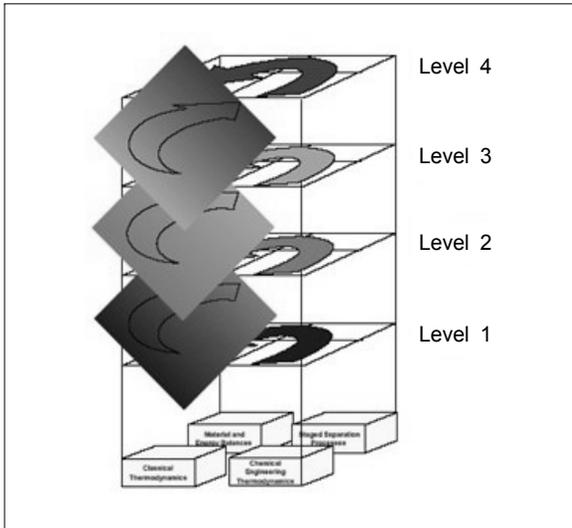
society)라고 부른다. 불연속적 에너지 레벨로 되어 있는 양자사회에서 상위 레벨로 점핑해 올라가기 위해서는 남다른 창의적인 아이디어를 가지고 있어야 한다. 따라서 모든 교과에서 학생들의 창의적 아이디어를 창안해 낼 수 있도록 교수방법이 고안되어야 하겠지만 과학 특히 물리교과에서는 창의성 교육이 중요하다. 창의성은 일반적으로 새롭고, 독창적이고, 유용한 것을 생산해내는 능력으로 정의(Barron, 1988; Mackinnon, 1962; Perkins, 1981; Stein, 1953)하는데 물리교육에서도 독창적인 아이디어로 새로운 것을 생산해 내는 능력을 끊임없이 요구해야 한다. 특히 물리교육에 있어서 동양에서는 깨달음을 중요시하는 반면 서양에서는 생산성을 중요한 목표로 삼고 있다. 즉, 서양의 교육에서는 비록 산출물이 막연하다 하더라도 창조적 산출물을 강조(Gardner, 1993)한 반면 동양의 교육에서는 목표를 성취하기 위한 내적 이해와 깨달음을 강조하였다(Sarnoff & Cole, 1983). 이러한 두 가지의 목표는 달리 성취되는 것이 아니라 상호 보완적으로 작용하여 물리교육의 목표를 달성해야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 두 목표를 달성할 수 있는 새로운 창의성 프로그램이 필요하게 되었다. 따라서 동 서양의 물리교육의 목표가 결합된다면 개인적 깨달음의 내적 목표와 생산성을 강조하는 외적 목표가 동시에 달성될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 학생들이 우리 주변에서 쉽게 발견할 수 있는 겹침 무늬를 찾아내고, 분류·재조직하여 문제를 해결하고, 적용범위를 창안해내어 깨달음에 도달하는 5단계의 창의성 프로그램을 수행함으로써 물리교육의 두 가지 목표인 생산성과 깨달음 두 가지를 달성할 수 있는 새로운 모델을 제안하고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 나선형 교육과정

Bruner(1960)의 “나선형 교육과정(spiral curriculum)”은 수학이나 물리학분야에서도 적용할 수 있는 적절한 방법이다. 그 한 예가 [그림 1]에서 보는 것 같이 DiBiasio 등이 나선형 교육과정을 화학공학 교육과정의 open-ended projects에 적용한 것이다(DiBiasio, Clark, Dixon, Comparini, & O'Connor,

1999). 이 혁신적인 교육과정은 학생들의 기술적 숙련을 향상시키는 물론 조직원들 간의 팀워크훈련, 동기부여, 자신감 등을 고취시킬 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서도 이를 바탕으로 물리교육에서의 나선형 창의성 모델을 제안하고자 한다. 본 모델은 우리 생활 주변에서 쉽게 발견할 수 있는 무아래 무늬를 이용하여 깨달음을 위한 과학적 탐구과정이다. 본 깨달음과 생산적 창의성을 위한 프로그램(Program for Enlightened and Productive Creativity: PEPC)은 개인적 능력에 따라서 상위레벨로 점핑해 올라갈 수 있는 양자적 단계로 구성되어 있으며 다섯 단계가 모두 한 점을 통과하므로 어느 단계에서나 피드백 시킬 수 있는 장점이 있다.

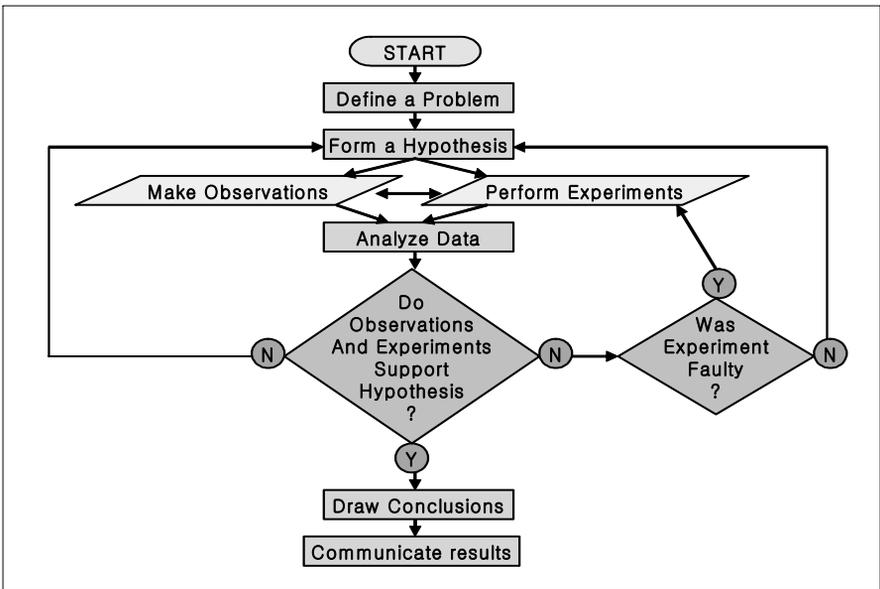


[그림 1] DiBiasio의 나선형 교육과정.

## 2. 과학탐구 과정과 창의성

과학탐구의 일반적 과정은 자연현상에 대한 의문에서부터 시작되며, 이 의문을 해결하기 위해서 관찰과 실험의 과정을 거쳐야 한다(National Research Council, 2000). 이 실험과정은 정확한 데이터를 얻기 위해서 반복되거나 창의적으로 재 고안되기도 한다. 이렇게 해서 얻어진 실험 결과를 바탕

으로 창의적인 과학법칙, 이론, 모델 등이 수립된다. 일반적으로 과학자들은 [그림 2]와 같이 과학탐구에서 문제인식-가설설정-실험, 관찰-결과분석-결론 유도의 5단계 탐구과정을 거친다(McFadden & Yager, 1993). 그리고 각 단계마다 새로운 창의성이 요구된다. Guilford Test(1967)와 Torrance Tests of Creative Thinking(Torrance, 1966, 1998)에 의하면 창의성에는 유창성, 융통성, 독창성, 정교성의 4가지 요소가 있다. 그러나 창의성에는 이들 4가지 주요 요소 말고도 민감성, 시각화, 분석력, 확장성, 직관력, 종합성 등과 같은 여러 가지 요소들이 있다(Goff, 1998; Torrance & Myers, 1970).



[그림 2] 전통적 과학탐구과정.

### 3. 물리교육에서 깨달음과 생산성의 위치

물리학자들은 자연현상을 관찰하여 통찰과 깨달음을 통하여 새로운 원리, 법칙, 이론을 발견해 내는 사람들이다. 물리교육의 목표중의 하나는 모든 학생들이 일상생활에서 일어나고 있는 자연현상과 물리적 현상들에 대한 소박

한 놀라움과 깨달음을 경험하게 하는 것이다. 따라서 물리교사는 실험과 관찰을 통하여 학생들 스스로 발견의 기쁨과 깨달음을 경험할 수 있도록 기회를 주어야 하고, 교실에서도 학생들의 통찰과 깨달음의 능력을 신장될 수 있도록 새로운 프로그램이 개발되어야 한다. 그러나 오늘날 많은 물리교사들은 학생들에게 개념이나 법칙을 외우게 하거나 발견의 기쁨이 없이 문제 풀이식 물리 공부를 하도록 강요하고 있다.

그 결과 한국의 학생들 사이에서는 물리교사를 “제물포”, 미국의 학생들 사이에서는 “hate of math-physics”, “fleeing math and physics”와 같은 신종어가 유행되고 있고, 물리교과의 선택율은 점점 떨어지고 있다. 그럼에도 불구하고, 우리 사회는 초 정보화된 과학 기술사회로 가고 있다. 과학 기술에서 가장 기본적인 학문은 물리이다.

그러나 물리학 자체가 중요한 것은 아니다. 물리 탐구의 과정에서 학생들의 창의적 능력을 길러주고, 문제 해결적 사고를 훈련시켜 주는 것이 물리교육의 목표가 되어야 한다. 물리학을 통하여 사물의 이치를 깨닫게 하고, 탐구의 과정에서 자연의 신비로움을 터득할 수 있는 기회를 주어야 한다. 그러므로 학생들이 물리법칙이나 원리를 이용하여 자신의 문제를 해결해 나갈 수 있는 자신감과 창의적 능력을 신장시킬 수 있는 새로운 탐구모델의 프로그램이 필요하다.

이런 시대적 요구에 따라 Rhodes(1961)의 창의성에 대한 4 P's: (a)창의적 산출물, (b)창의적 과정, (c)창의적인 사람 (d)창의적 환경을 기반으로 과학영재들의 창의적 능력을 검증하기 위한 프로그램을 개발한 것이 “깨달음과 생산적 창의성을 위한 프로그램(Program for Enlightened and Productive Creativity: PEPC)”이다.

#### 4. 일상생활에서의 무아래 무늬

우리가 조금만 관심을 기울인다면 우리 주변에서 쉽게 주기적으로 반복되는 구조물들과 수많은 무아래 무늬들을 발견할 수 있다. 그 예가 골프 연습장의 네트, 선풍기, 방충망이 있는 유리창, 여름 커튼, 한복의 속치마, 미사포 등이다. 이런 무늬들은 주기적으로 반복되는 구조물들이 겹쳐질 때 발생하는 것으로 이런 무늬를 무아래 무늬(겹침무늬)라고 한다(Amidror, 2000;

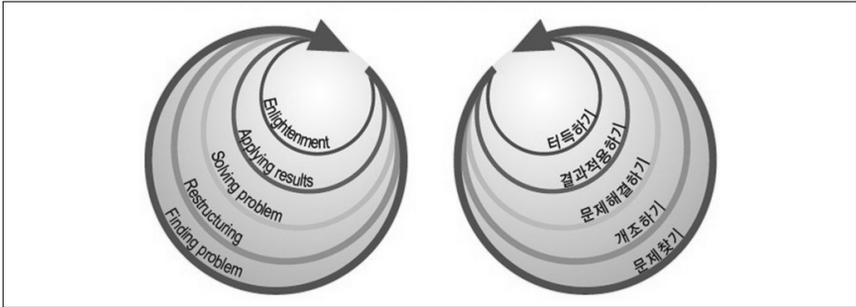
Patorski & Kujawinska, 1993). 이들 겹침 무늬는 일종의 강도 간섭효과로서 2장 이상의 주기적인 구조를 가진 격자가 겹쳐질 때 얻을 수 있으며 비 간섭성 광원으로도 쉽게 얻을 수 있다(Theocaris, 1969). 격자의 종류로는 직선 격자, 원형격자, 사방격자. 방사격자, EC격자, MRP격자 등이 있다. 무아래 무늬를 이용하여 물체의 형상을 측정할 수 있는 방법으로는 그림자 방식(SMT)과 영사 방식(PMT)이 있다. 1970년 일본의 Takasaki는 그림자 방식을 이용하여 인체의 특정 부위에 대한 형상을 측정하였다. 또한 이들 무아래 무늬를 이용하여 물체의 횡변위 및 각변위를 측정(Kim, 1997; Song, 1998) 하였고, 물질의 굴절률을 측정(Nishijima & Oster, 1964)하였으며, 용수철에 생기는 무아래 무늬를 분석(Yuk & Chang, 2001)하기도 하였다. 또한 이들 무아래 무늬는 물리교육에도 활용하고 있다(Kim, Yuk, & Rim, 2003; Yuk, Ryu, & Kim., 1995). 두 장의 주기적인 격자를 겹쳐서 만들 수 있는 무아래 무늬는 교실에서도 쉽게 얻을 수 있기 때문에 학생들의 창의성을 신장시켜 주는 프로그램으로 다양하게 활용할 수 있다. 즉, 학생들의 수준에 따라서 무아래 무늬를 얻어내는 낮은 수준의 프로그램에서 무아래 무늬를 수학적으로 표현할 수 있는 높은 수준의 프로그램까지 학생들의 수준에 따라서 다양하게 적용시킬 수 있다. 또한 이들 프로그램을 통하여 학생들이 무아래 무늬를 이용하여 생산적인 산출물을 얻어낼 수 있도록 요구할 수도 있다 (Amidror, 2000; Patorski & Kujawinska, 1993).

### III. 무아래 무늬를 이용한 PEPC(Program for Enlightened and Productive Creativity) 모델

#### 1. PEPC 모델의 구조와 과정

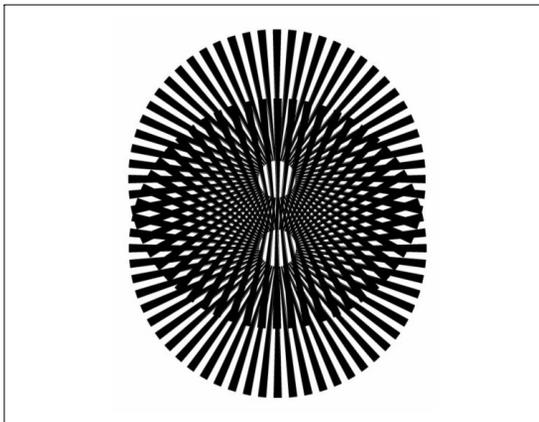
물리를 한자로 쓰면 物理(物+理)로서 사물의 이치를 뜻한다. 즉, 사물의 존재 방식이나 관계성의 이치를 깨달아가는 과정이 물리이다(Zukav, 2001). 통찰(insight)이 문제 찾기-재구성하기-문제 해결하기-결과 적용하기-터득하기의 각 단계에서 항상 요구되는 것이라면 깨달음(enlightenment)은 물리 탐구의 최종단계이다. 그러나 깨달음은 최종 단계에서 끝나는 것이 아니라 새로운 문제를 찾아내는 시발점이기도 하다. 따라서 물리교육의 최종목표도 학

생들 스스로 물리법칙이나 원리, 공식을 통하여 사물의 이치를 깨달아 갈 수 있는 기회를 주는 것이다.



[그림 3] PEPC 모델.

[그림 3]에서 보는 것같이 PEPC 모델(일명 펄스 모델)은 한 점을 지나는 5 단계의 원으로 구성되어 있는 양자적 나선형 탐구과정이므로 어느 과정에서나 점핑하거나 피드백 할 수 있다. 이 모델은 [그림 4]에서 보는 것 같이 두 장의 방사형 격자를 겹쳤을 때 만들어지는 좌우 대칭의 불연속적인 무아래 무늬에서 착안되었다. 이 좌우 대칭의 원형 무늬군은 비행기가 비행을 할 때 좌우 날개에서 일어나는 소용돌이 형태로 양쪽 날개에서 대칭으로 일어난다.



[그림 4] 방사선 격자 무아래 무늬.

서쪽(왼쪽)의 불연속적인 나선형은 서양과 좌뇌를 의미하고, 동쪽(오른쪽)의 불연속적인 나선형은 동양과 우뇌를 의미한다. 이는 서양의 생산성 중심 사고와 동양의 깨달음 중심의 사고가 상호 보완적으로 균형을 이룸으로서 세상이 바르게 갈 수 있음을 의미하기도 한다. 물리학의 중심 사고가 자연의 대칭성과 불연속성이기 때문에 본 모델을 만드는데 이 두 가지 사고를 채택하였다(Feynman, 1965). 또한 각 원의 색깔을 다르게 나타낸 것은 빛의 스펙트럼을 의미하며, 큰 원에서부터 작은 원으로 갈수록 파장이 짧아져 에너지가 커짐을 의미한다(Minnaert, 1954; Newton, 2003). 그리고 이들 색을 모두 합치면 백색광이 만들어지고 이 백색광이 바로 깨달음 즉, 득도의 색깔을 의미한다. 그리고 각 단계는 1단계 : 문제 찾기, 2단계 : 재구성하기, 3단계 : 문제 해결하기, 4단계 : 결과 적용하기, 5단계 : 터득하기로 구성하여 실험 탐구가 아닌 일반 탐구 프로그램에도 적용할 수 있다.

## 2. PEPC의 각 단계에서 적용되는 창의성 요소

앞에서 언급한 바와 같이 PEPC는 5단계로 구성되어 있는데 각 단계마다 창의적 능력이 요구된다. 첫째 단계인 문제 찾기의 단계에서는 민감성과 유창성을 측정할 수 있다. 왜냐하면 학생들은 일상의 주변에서 주기적으로 반복되는 구조물들을 찾아내고, 이들을 같은 형태끼리 분류하여야 하기 때문이다. 두 번째 단계인 개조하기 단계에서는 융통성과 시각화, 유추 능력을 측정할 수 있다. 왜냐하면 학생들은 이 단계에서 두 장의 격자가 겹쳐서 만들어진 무아래 무늬를 찾아내야하고, 이들을 종류별로 분류해야 하기 때문이다. 세 번째 단계인 문제해결하기 단계에서는 정교성과 분석능력을 측정할 수 있다. 왜냐하면 학생들은 이 단계에서 관찰과 실험을 통하여 무아래 무늬에 나타나는 규칙성을 찾아내야하고, 이를 수학적으로 표현할 수 있어야 하기 때문이다. 네 번째 단계인 결과적용하기 단계에서는 무아래 무늬를 일상생활이나 물리시간에 어떻게 활용할 수 있는지를 찾아내는 단계이므로 독창성과 확장성을 측정할 수 있다. 마지막 다섯째 단계인 터득하기 단계에서는 학생들이 아하! 의 경험이나 결론을 만들고 새로운 탐구 주제를 다시 찾아내어야 하기 때문에 직관력과 종합성을 측정할 수 있다. 이 마지막 단계

가 물리교육의 최종 목표인 깨달음의 단계이므로 가장 중요한 단계이다. 이들 각 단계별 창의성 요소 적용 사례는 <표 1>과 같다.

<표 1> 각 단계별 창의성 요소 적용 사례

단계	창의성 요소	활 동
1단계	민감성 유창성	주기적으로 반복되는 구조물 찾기와 유사한 형태끼리 분류하기
2단계	융통성 시각화	생활 주변에서 무아래 무늬 찾기와 유사한 형태끼리 분류하기, 두 장의 격자를 겹쳐서 새로운 무아래 무늬 만들어 보기
3단계	정교성 분석력	관찰과 실험을 통하여 무아래 무늬에 나타나는 규칙성을 찾기와 이를 수학적으로 표현하기
4단계	독창성 확장성	무아래 무늬를 일상생활이나 물리교육에 어떻게 활용할 수 있는지를 찾아내기
5단계	직관력 종합성	지금까지의 탐구결과를 종합하고, 탐구의 과정에서 아하!의 경험을 통하여 무아래 무늬의 원리와 유용성을 터득한다.

### 3. 무아래 무늬를 이용한 PEPC의 예

무아래 무늬를 이용한 PEPC의 사례는 학생용과 교사용으로 개발하였는데 본 연구에서는 견본으로 학생용 프로그램만 <부록>에 제시한다.

## IV. 연구 대상 및 방법

### 1. 연구대상

연구대상은 K대학교 과학영재교육원 물리반 영재학생, 경기도 소재 S중학교 2, 3학년 일반학생 및 2, 3학년 선발영재학생, K대학교 1급 물리 정교사 자격연수생 등 총 106명을 대상으로 연구한다.

### 2. 연구방법

- 1) 창의력을 신장시킬 수 있는 PEPC 프로그램을 학생용과 교사용으로 구

분 개발한다.

- 2) 창의성 하위 요소에 대한 검사는 학생들이 제출한 보고서를 평가하였으며, 보고서는 과학교육 전문가 1인, 영재교육 전문가 1인, 영재지도 교사 1인이 평가한다. 통계처리는 SPSS 통계 프로그램으로  $p$ 값을 분석한다.
- 3) PEPC 프로그램을 연구집단에 투여한 후 집단별, 단계별 창의성 요소 성취정도를 비교한다.
- 4) PEPC 프로그램 실행 후의 집단별 생산성과 깨달음의 사례를 연구 대상별로 조사, 비교 분석한다.

### 3. 연구의 제한점

첫째, PEPC 프로그램은 정확한 안내와 장기 과제로 실시하여야 하기 때문에 영재 그룹에 대한 연구대상을 K대학 영재교육원 물리반으로 제한한다.

둘째, 짧은 기간에 PEPC 프로그램 투여 전 후의 연구대상의 창의성 신장 정도를 비교한다는 것은 무리가 있어 투여 전후의 창의성 신장 정도는 비교하지 않는다. 단지 집단별, 단계별 창의성 요소의 성취도만을 비교한다.

## V. 연구결과 및 논의

### 1. 집단별, 단계별 창의성 요소 성취도 비교

PEPC 프로그램을 연구대상에게 투여하고, 보고서를 받아 과학교육 전문가, 영재교육 전문가, 영재지도교사 3인이 각 요소별 10점 만점으로 평가하여 SPSS 통계 프로그램으로  $p$ 값을 분석한 결과 아래 <표 2>에 나타난 것 같이 단계별 창의성 요소에 대한 종합 성취도가 교사반, 영재반, 2학년 선발 영재반, 3학년 선발 영재반, 3학년 일반반, 2학년 일반반의 순서로 높게 나타났다. 이상의 집단별, 단계별 창의성 요소 성취도를 분석한 결과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p=.000<.001$ ). Duncan의 사후검정 결과, 분석력은 창의성의 다른 요소들에 비해 가장 낮게 나타났으며 교사반이 4.89로 중학교 3학년 일반반( $M=3.41$ )과 영재반( $M=3.00$ ), 2학년 일반반( $M=2.82$ )보다

는 높게 나타났으나 다른 요소에 비해 매우 낮다. 독창성은 2학년 선발반이 과학영재반보다 높게 나타났다. 확장성은 교사반이 8.59로 가장 높게 나타났으며, 2학년 일반반이 3.04로 가장 낮게 나타났다. 직관력은 오히려 영재반 ( $M=6.29$ )이 교사반( $M=5.74$ )보다도 높게 나타났다. 종합성도 교사반이 영재반이나 2학년 선발반보다 낮게 나타났다. 특히 2단계에서 2학년 선발반이 가장 낮게 나타났다.

<표 2> 집단별, 단계별 창의성 요소 성취도 비교

집단	단계	1단계		2단계		3단계		4단계		5단계		종합 점수
		민감성	유창성	융통성	시각화	정교성	분석력	독창성	확장성	직관력	종합성	
2학년 일반반		8.29	7.04	6.57	6.39	4.36	2.82	5.21	3.04	2.21	3.79	49.72
2학년 선발영재반		8.00	7.44	4.88	4.88	6.31	4.44	8.50	5.81	4.00	6.81	61.07
3학년 일반반		6.41	5.31	5.41	5.06	4.91	3.41	7.53	4.38	3.59	4.25	50.26
3학년 선발영재반		7.86	6.97	6.41	6.07	5.90	3.72	7.66	5.62	4.10	5.55	59.86
과학 영재반		8.07	6.36	6.36	6.21	6.21	3.00	7.21	6.09	6.29	6.14	61.94
물리 교사반		9.67	8.93	9.00	8.44	9.04	4.89	9.00	8.59	5.74	6.00	79.30

## 2. 집단별 깨달음과 생산성 사례 비교

물리수업이 실험과 관찰을 통하여 학생들 스스로 발견의 기쁨과 깨달음을 경험할 수 있어야하고, 이를 통하여 학생들 스스로 탐구의 과정에서 통찰과 깨달음의 능력이 길러져야 한다. 그러나 오늘날 우리 물리교육 특히 과학영재를 위한 물리교육에서 조차 이런 요구를 수행하고 있지 못하고 있다. 집단별 깨달음과 생산성에 관한 반응률을 보면 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 집단별 깨달음과 생산성에 관한 반응 사례

집 단	생산성(%)	깨달음(%)
2학년 일반반	41.43	37.14
2학년 선발영재반	57.50	52.50
3학년 일반반	36.25	48.13
3학년 선발영재반	48.96	64.83
과학 영재반	54.29	75.71
물리 교사반	76.30	74.10

<표 3>에 나타난 것같이 단계별 생산성에서는 교사반, 2학년 선발 영재반, 과학 영재반, 3학년 선발 영재반, 3학년 일반반, 2학년 일반반의 순서로 높게 나타났으며, 깨달음에서는 과학영재반, 교사반, 3학년 선발 영재반, 2학년 선발 영재반, 3학년 일반반, 2학년 일반반의 순서로 높게 나타났다. 무아래 무늬를 어떻게 활용할 것인가에 관한 아이디어를 요구한 생산성에 관한 질문에서 교사반이 월등히 높게 나타난 것은 생활의 지혜 덕분인 것으로 보인다. 그러나 PEPC 프로그램을 수행하면서 무엇을 깨달았느냐는 질문에서는 교사반, 과학영재반, 3학년 선발 영재반에서 높게 나타났다. 또한 생산성과 깨달음에 관한 주요 사례는 <표 4>와 <표 5>에 나타났다.

<표 4> 과학 영재반의 주요 사례

생 산 성	깨 달 음
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 지구 자기장의 모양을 보고 싶을 때 두 장의 방사형 격자를 겹치면 된다.</li> <li>2. 삼차원 좌표 측정용 부피 간섭계</li> <li>3. 격자를 이용해서 인체의 굴곡 정도를 시각적으로 조사해 볼 수 있다.</li> <li>4. 직물을 잘 때 미리 무늬를 만들어 본다.</li> <li>5. 수영장 바닥에 격자무늬를 그리면 수면에서 발생하는 파동과 겹쳐 새로운 겹침무늬를 만들 수 있기 때문에 멋진 수영장을 만들 수 있을 것이다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 물리의 실용성을 다시 깨달았다.</li> <li>2. 너무 자연현상에 대한 관찰을 하지 않다는 것을 깨달았다.</li> <li>3. 우리 주변에는 규칙적으로 된 물건들이 많다는 것을 알았다.</li> <li>4. 하찮은 것이 생각보다 유용하다는 것을 배웠다.</li> <li>5. 직접 사진을 찍고, 문제에 접근하면서 능동적이고 자기 주도적인 공부를 할 수 있었다.</li> </ol>

<표 5> 물리교사반의 주요점 사례

생 산 성	깨 달 음
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. TV에 발생하는 줄무늬를 제거하는데 활용</li> <li>2. 새로운 무늬를 디자인 할 때 밀그림으로 활용</li> <li>3. 속이 비치는 옷감에 이용하면 새로운 여름 옷 디자인에 적용 가능하다.</li> <li>4. 무아래 무늬를 이용하여 예술품이나 조형물 제작이 가능하다.</li> <li>5. 위폐 방지에 활용한다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 무심하게 지나칠 수 있는 무아래 무늬를 수학적으로 표현할 수 있다는 것을 알았다.</li> <li>2. <math>1+1=2</math>가 아니라 그 이상의 무엇이 있다는 것을 알았다.</li> <li>3. 세상의 많은 현상들이 반복된 패턴과 관련이 있다는 것을 알았다.</li> <li>4. 장의 개념을 시각화 시킬 수 있음을 알았다.</li> <li>5. 자연은 어떤 패턴으로 형성되어 있음을 알았다.</li> </ol>

그 결과 생산성에서는 무아래 무늬의 다양한 활용방안이 제안되었다. 그 중에서도 과학 영재반 학생이 제안한 “수영장 바닥에 격자무늬를 그리면 수면에서 발생하는 파동과 겹쳐 새로운 무아래 무늬를 만들 수 있기 때문에 멋진 수영장을 만들 수 있을 것이다.” 는 매우 독창적인 아이디어였다. 또한 깨달음에 대한 답변에서는 과학영재 학생이 제안한 “직접 사진을 찍고, 문제에 접근하면서 능동적이고 자기 주도적인 공부를 할 수 있었다.”는 PEPC 프로그램이 학생들의 자기 주도적 학습과 창의성 신장 프로그램으로 활용할 수 있음을 알려주는 시사점이다.

## VI. 결론 및 제언

일상생활에서 쉽게 발견할 수 있는 무아래 무늬를 이용하여 학생들의 창의적 능력을 신장시킬 수 있는 “PEPC(Program for Enlightened and Productive Creativity)” 모델을 창안해냈다. 본 PEPC 모델을 창안해낸 목적은 교실이나 일상생활에서 비선형적인 양자적 나선형 프로그램을 수행토록 하여 학생들의 창의적 능력을 신장시키고, 학생 스스로 자연의 이치를 깨닫게 하는데 있다. 특히 본 모델은 각 단계에서 학생의 능력에 따라 상위레벨로 점핑해 올라가거나 자유롭게 피드백 시킬 수 있는 장점이 있다. 창의력이 뛰어난 과학영재들에게는 수학적 표현까지도 요구하여 무아래 무늬의 원리를 산업이나 예술분야에 적용할 수 있는 단계까지 끌어 올릴 수 있다. 특히 생산성을 중시하는 서양의 교육과 깨달음을 중시하는 동양의 교육 모두에 적용할 수 있는 통합적인 창의성 신장 모델을 구안하였다.

그리고 이 프로그램을 중학교 일반학생, 일반학교의 영재반 학생, 대학부설 과학영재교육원의 물리영재반, 물리교사들에게 적용해 보았다. 그 결과 집단별, 단계별 창의성 요소에 대한 종합 성취도는 교사반, 영재반, 2학년 선발 영재반, 3학년 선발 영재반, 3학년 일반반, 2학년 일반반의 순서로 높게 나타났다. 이는 일반적인 견해와 일치하지만 3학년 선발 영재반이 2학년 선발 영재반보다 낮게 나타난 것은 하나의 논의사항이다. 특히 단계가 높아질수록 성취도가 낮아지는 경향을 보였으며 민감성이 가장 높게 나타난 반면

분석력은 가장 낮게 나타났다. 분석력이 다른 요소에 비해 현저히 낮게 나타난 것은 3단계 문제해결 단계에서 두 장의 격자가 겹쳐졌을 때 발생하는 무아래 무늬의 규칙성을 발견해 내거나 거리-각도-무늬 사이의 관계성을 찾아낼 수 있는 능력이 낮음을 의미한다. 이렇게 교사나 영재, 일반학생 모두에서 분석력이 낮게 나타난 원인은 그 동안 물리교육이 자연이나 생활 주변을 중심으로 행해지지 않고 교과서 속에서 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다.

본디 물리학이란 사물의 존재 방식이나 사물간의 관계성에서 자연의 이치를 깨달아가는 과정이다. 그리고 여기서 깨달은 결과를 적용하여 인류에 이바지하는 학문이다. 그럼에도 불구하고 여러 가지 이유로 깨달음의 물리, 생산성의 물리를 가르치기보다는 문제풀이 위주의 교육을 하는 것이 오늘의 현실이다. 따라서 본 연구에서는 물리학의 두 가지 목표인 생산성과 깨달음을 향상시킬 수 있는 프로그램을 개발하고 이들에 대해서 학생들이나 교사들의 반응에 대해서도 연구하였다. 그 결과 과학영재반과 물리교사반에서 수집된 사례에서는 생산성에 관한 무아래 무늬의 다양한 활용방안이 제안되었다. 즉, 물체의 부피 측정, 인체의 형상 측정, 파동이나 전자기장의 교수학습 자료로 활용, 의상 디자인에 적용 등 다양한 아이디어가 제안되었다. 또한 깨달음에 대한 답변에서는 일상생활에서 무심코 지나친 사물들에서 새로운 것을 찾아 낼 수 있는 눈을 가졌다는 의견과 자연현상을 수학적으로 표현하는 방식을 깨달았다는 의견이 많았다. 이는 PEPC 프로그램의 가능성을 예측케 해준다는 측면에서 매우 고무적인 의견이었다. 앞으로 본 PEPC 모델을 서양에서도 적용해 보고, 동 서양 영재들의 창의성에 대한 접근 방법의 차이를 더 연구해 보고자 한다.

## 참 고 문 헌

- Amidror, I. (2000). *The theory of the moire phenomenon*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.
- Bruner, J. (1960). *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Barron, F. (1988). *Putting creativity to work*. In R. Sternberg(Ed.), *The nature of creativity*(pp. 76-98). New York: Cambridge University Press.

- Cramond, B. (2005). *Fostering creativity in gifted students*. Austin: Prufrock.
- DiBiasio, D., Clark, W.C., & Dixon, A. G. (1999). *Evaluation of a spiral curriculum for engineering*. Paper presented at the 29th ASEE/IEEE Frontier in Education Conference, 15-18.
- Feynman, F. (1965). *The character of physical laws*. Boston: The MIT Press.
- Gaskins, R. W. (1999). Adding legs to a snake': A reanalysis of motivation and the pursuit of happiness from a Zen. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 204-215.
- Gardner, H. (1993). *Creating minds*. New York: Basic Books/Harper Collins.
- Guilford, J. P. (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- Goff, K. (1998). *Everyday creativity: An Easy-to-read Guide*. Little Ox Books. 3824N, Airport Lane
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55(5). 440-54.
- Jo, J. H., Yuk, K. C., & Chang, S. (1994). Colored shadow moire topography using colored light sources: Red, green, and blue. *Japanese Journal of Applied Physics*, 33(11A). L1565-L1567
- K. C. Yuk, J. H. Jo, and S. Chang. (1994). Determination of the Absolute Order of Shadow Moire Fringes by Using two Differently Colored Light Sources. *Applied Optics*, 33(1). 130-132.
- Keun Cheol Yuk, Bonnie Cramond. (2006). Program for enlightened and productive creativity illustrated with a moire patterns lesson. *The Journal of Secondary Gifted Education*, XVII(4). 272-283.
- Kim, B. J., Song, B. J., Kim, B. J., Jo, J. H. Chang, S., Yuk, K.C. (1997). Determination of small angular displacement by moire fringes of matched radial-parallel gratings. *Applied Optics*, 36(13). 2848-2855.
- Kim, B. M., Yuk, K. C., Rim, Y. K. (2003). *Applying moire fringes to design through using grating*. Paper presented at the Korea & Costume Design Association International Conference & Exhibition, Mimar Sinan University, Korea.
- MacKinnon, D. W. (1962). The nature and nature of creative talent. *American Psychologist*, 17. 484-495.
- McFadden, C., & Yager, R.E. (1993). *Science plus technology and society*. Holt, Rinehart and Winston. Inc. Austin, TX: Holt, Rinehart, & Winston.
- Minnaert, M. (1954). *The nature of light & color in the open air*. Minneola, New York:

- Dover Publications Inc.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Newton, I. (2003). *Opticks*. Amherst, NY: Prometheus Books.
- Nishijima, Y., & Oster, G. (1964). Moire patterns: Their application to refractive index and refractive index gradient measurements. *Journal of the Optical Society of America*, 54(1). 1-5.
- NOVA Teachers, Featured Teacher, Diane Trantham. (Spring 2005). Creative problem solving to the rescue. Retrieved 4/03/06 from [http://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/featured/2005s\\_trantham.html](http://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/featured/2005s_trantham.html)
- Patorski, K., & Kujawinska, M. (1993). *Handbook of the moire fringe technique*. Amsterdam: Elsevier.
- Perkins, D. (1981). *The mind's best work*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Rhodes, M. (1961). An analysis of creativity. *Phi Delta Kappan*, 42(7). 305-310.
- Sarnoff, D. P., & Cole, H. P. (1983). Creativity and personal growth. *Journal of Creative Behavior*, 17(2). 95-102.
- Song, J. S., Lee, Y. H., Jo, J. H., Chang, S., & Yuk, K. C. (1998). Moire patterns of two different elongated gratings for the fine visual measurement of linear displacements. *Optics Communications*, 154(8). 100-108.
- Sternberg, R.J. (1999). *Handbook of creativity*. New York: Cambridge University Press.
- Sternberg, R.J. (1988). *The nature of creativity*. New York: Cambridge University Press.
- Stein, M. I. (1953). Creativity and culture. *Journal of Psychology*, 36. 311-322.
- Taylor, C. W., & Barron, F. (1964). *Scientific creativity*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Theocaris, P. S. (1969). *Moire fringes in strain analysis*. New York: Pergamon Press.
- Torrance, E. P. (1966) *Torrance tests of creative thinking*. Lexington, MA: Personal Press.
- Torrance, E.P. (1998) *Torrance tests of creative thinking*. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service.
- Yuk, K. C., Chang, S. (2001). Analysis of moire fringes by a solenoidal coil grating. *Optics Communications*, 195(8). 119-126.
- Yuk, K. C., Ryu, J. W., & Kim, Y. B. (1995). The application of moire fringes for the water-wave experiments in high school classes. *Korea Physics Education*, 13(2). 103-109.
- Zukav, G. (1979). *The dancing wu li masters* (2nd Ed.). New York: William Morrow.

= Abstract =

## Development and Application about Program for Enlightened and Productive Creativity by Using Moire Pattern

**Keun Cheol Yuk**

*Kongju National University*

**Yong Guk Kim**

*Kongju National University*

**Bonnie Cramond**

*University of Georgia*

We present a creative program model for encouraging the creative ability of gifted students by using overlapped patterns found in every day life. This model is based on the basic concept that the purpose of physics education is enlightenment from around the world. Combining both the Western perspective of creativity as productivity and the Eastern perspective of creativity as enlightenment, a Program for Enlightened and Productive Creativity(PEPC) for teaching inquiry was devised. This Program for Enlightened and Productive Creativity describes stages through which a student is guided to solve a problem using increasingly complex observation, inquiry, and experimentation. The use of this model in teaching is illustrated through a physics lesson of moire patterns using overlapping patterns found in our every day life. A case is made that PEPC can be applied to teaching general students as well as gifted students and in different content areas. PEPC model is applied to general students in middle school, scientifically gifted students and physics teachers.

**Key words:** Productivity, Enlightenment, Moire fringes, periodic structure, Scientific gifted students, PEPC

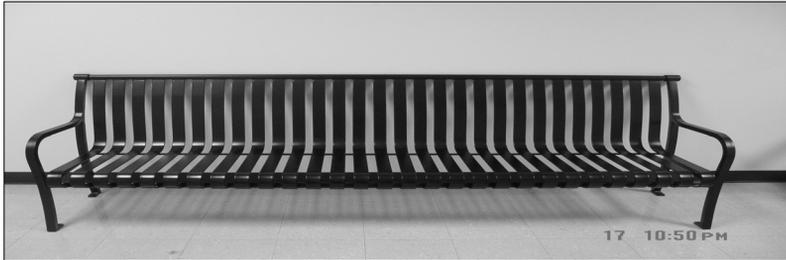
1차 원고접수: 2007년 3월 2일
수정원고접수: 2007년 3월 27일
최종게재결정: 2007년 4월 20일

<부 록>

일상생활에서 발견되는 규칙적으로 반복되는 형태와  
무아래 무늬를 통한 영재들의 창의성 신장 프로그램  
(Level 1 학생용)

제 1 단계: 문제 찾기(민감성, 유창성)

문제 찾기의 단계!



- ★ 일상생활에서 발견할 수 있는 규칙적으로 반복되는 형태를 갖고 있는 것들 중 8가지 이상을 찾아서 디지털 카메라로 사진을 찍어보세요(또는 이름을 적어 보세요)! 많이 찾아낼수록, 새로운 것을 찾아낼수록 더 좋습니다.
- ★ 여러분들이 찾아낸 규칙적으로 반복되는 형태를 가진 구조물 중에서 유사한 형태라고 생각되는 것들끼리 분류하여 보세요! 몇 가지로 분류할 수 있나요?

제 2 단계: 개조하기(융통성, 시각화)

규칙적으로 반복되는 형태들을 겹쳐서 새로운 무늬로 재조직하는 단계!

- ★ 앞에서 찾은 규칙적으로 반복되는 형태들이 겹쳐지면 새로운 형태의 무아래 무늬가 만들어지는데 일상생활에서 발견할 수 있는 무아래 무늬들을 찾아 8가지 이상 찾아서 디지털 카메라로 사진을 찍어 보

세요(또는 그 이름을 써보세요)! 많이 찾아낼수록, 새로운 것을 찾아낼수록 더 좋습니다.

- ★ 위에서 찾아낸 무아래 무늬들 중에서 유사한 패턴을 가지고 있는 것끼리 분류하여 보세요! 몇 가지로 분류할 수 있나요?

### 제 3 단계: 문제 해결하기(정교성, 분석력)

관찰과 실험으로 패턴의 규칙성 찾기의 단계!

두 장의 규칙적으로 반복되는 형태(격자)를 겹치면 새로운 무늬가 발생하는데 이때의 규칙성에 대해서 탐구해 봅시다.

# 교사는 학생들에게 다음 각각의 과정에서 규칙적으로 반복되는 격자를 한 장은 종이에 또 다른 한 장은 투명 아트지에 복사해서 나누어 준다.

1. 교사가 학생들에게 직선형태의 규칙적으로 반복되는 격자를 한 장은 종이에 또 다른 한 장은 투명 아트지에 복사해서 나누어 주고, 학생들이 스스로 겹쳐 보도록 하세요. 그리고 다음의 질문에 답하도록 하세요.

- ★ 두 장의 직선격자를 여러 가지로 겹쳐보고 관찰결과를 3가지 이상 적어 보세요.

- ★ 일상생활에서 이런 무늬는 어디에서 발견되는지 3가지 이상 적어 보세요.

2. 교사가 학생들에게 사각형태의 규칙적으로 반복되는 격자를 한 장은 종이에 또 다른 한 장은 투명 아트지에 복사해서 나누어 주고, 학생들이 스스로 겹쳐 보도록 하세요. 그리고 다음의 질문에 답하도록 하세요.

- ★ 두 장의 사방격자를 여러 가지로 겹쳐보고 관찰결과를 3가지 이상 적어 보세요.

★ 일상생활에서 이런 무늬는 어디에서 발견되는지 3가지 이상 적어 보세요.

3. 교사가 학생들에게 원 형태의 규칙적으로 반복되는 격자를 한 장은 종이에 또 다른 한 장은 투명 아트지에 복사해서 나누어 주고, 학생들이 스스로 겹쳐 보도록 하세요. 그리고 다음의 질문에 답하도록 하세요.

★ 두 장의 원형 격자를 여러 가지로 겹쳐보고 관찰결과를 3가지 이상 적어 보세요.

★ 일상생활에서 이런 무늬는 어디에서 발견되는지 3가지 이상 적어 보세요.

4. 교사가 학생들에게 방사형태의 규칙적으로 반복되는 격자를 한 장은 종이에 또 다른 한 장은 투명 아트지에 복사해서 나누어 주고, 학생들이 스스로 겹쳐 보도록 하세요. 그리고 다음의 질문에 답하도록 하세요.

★ 두 장의 방사형격자를 여러 가지로 겹쳐보고 관찰결과를 3가지 이상 적어 보세요.

★ 일상생활에서 이런 무늬는 어디에서 발견되는지 3가지 이상 적어 보세요.

#### 제 4 단계: 결과 적용하기(독창성, 확장성)

이들 무아래 무늬를 일상생활에서나 교실에서 적용할 수 있는 아이디어 찾기의 단계!

지금까지 우리는 여러 가지 형태의 무아래 무늬를 우리 주변에서 찾아보고, 만들어 보았습니다. 다음 각각의 경우 어떻게 무아래 무늬를 활용할 수 있는지 사례를 찾아보고, 자기의 아이디어를 제안해 보세요.

- ★ 규칙적으로 반복되는 직선 형태를 갖는 두 장을 겹쳤을 때 생성되는 새로운 무아래 무늬를 일상생활이나 교실에서 적용할 수 있는 사례를 찾아 3가지 이상 적어보고, 구체화시켜 보세요.
- ★ 규칙적으로 반복되는 사각 형태를 갖는 두 장을 겹쳤을 때 생성되는 새로운 무아래 무늬를 일상생활이나 교실에서 적용할 수 있는 사례를 찾아 3가지 이상 적어보고, 구체화시켜 보세요.
- ★ 규칙적으로 반복되는 원 형태를 갖는 두 장을 겹쳤을 때 생성되는 새로운 무아래 무늬를 일상생활이나 교실에서 적용할 수 있는 사례를 찾아 3가지 이상 적어보고, 구체화시켜 보세요.
- ★ 규칙적으로 반복되는 방사 형태를 갖는 두 장을 겹쳤을 때 생성되는 새로운 무아래 무늬를 일상생활이나 교실에서 적용할 수 있는 사례를 찾아 3가지 이상 적어보고, 구체화시켜 보세요.

#### 제 5 단계: 터득하기(직관력, 종합성)

결론 내리기와 깨달음의 단계!

이 프로그램을 수행하면서 아르키메데스의 “Eureka!”처럼 당신은 “Aha!”의 경험을 했나요? 경험을 하였다면 구체적으로 그 사례를 적어 보세요.

- ★ 여러분은 이 프로그램을 수행하면서 어떤 결론을 내릴 수 있나요? 3가지 이상 적어 보세요.
- ★ 여러분은 이 프로그램을 수행하면서 무엇을 깨닫게 되었는가? 터득한 것이 있다면 3가지 이상 적어 보세요.
- ★ 여러분은 이 프로그램을 수행하면서 다음 연구과제가 떠올랐는가? 있으면 한 가지만 적어 보세요.